

報告

[1059] 可使時間の調節可能な急硬材混和コンクリートの基礎的性状

正会員 ○ 倉林 清 (戸田建設)
 大塚 哲雄 (電気化学工業)
 岡村 光政 (戸田建設)
 内藤 将史 (戸田建設)

1. はじめに

可使時間を自由に調節でき、その直後に所要の強度発現をするコンクリートは主に緊急工事、止水工事等に用いられている。このような用途のコンクリートは、今から20年前にアメリカから技術導入された超速硬セメントが主に使用されている。超速硬セメントコンクリート（以下、超速硬コンクリートと呼ぶ）の練混ぜは、主に現場で行われている。これに対し、急硬材を現場で後添加する方法は、練混ぜが十分に行えればレデーミクストコンクリートを使用できるので、仮設備の軽量化が図れ、品質管理上も利点がある。可使時間を調節できる急硬材を混和したコンクリート（以下、急硬材コンクリートと呼ぶ）と超速硬コンクリートの基礎的な性状について実験を行ったので、その結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 使用材料

使用材料を表-1に示す。急硬材の主成分はカルシウムサルフォアルミネート系であり、凝結調整剤により可使時間を調節する。普通セメントは電化社製、超速硬セメントは住友社製を用いた。なお、本文では超速硬セメントの凝結調整剤をセッター、急硬材のものを凝結調整剤と呼ぶ。

表-1 使用材料

種類	記号	名称、主成分など
セメント	C	普通ポルトランド、超速硬
水	W ₁ 、W ₂	水道水
細骨材	S	新潟県姫川産川砂
粗骨材	G	新潟県姫川産碎石
A E減水剤	WR	リグニンスルホン酸化合物
流動化剤	SP	アルキルアリスルホン酸
急硬材	RH	カルシウムサルフォアルミネート系
凝結調整剤	ST	炭酸アルカリ、有機酸

2.2 コンクリートの配合

基本配合は表-2に示す通りである。急硬材の添加率（内割）は0~20%とした。急硬材添加率15%のコンク

表-2 コンクリートの基本配合

種類	急硬材添加率 (%)	単位量 (kg/m ³)						備考 (W ₁ +W ₂)/(C+RH)=0.57 s/a=0.5 WR=0.0025×(C+RH)
		コンクリート			急硬材ミルク			
		W ₁	C	SP	W ₂	RH	ST**	
急硬材	0	200	350	0	0	0	0	
	10	180	315	0	19	35	0.6	
	15	170	297	8.5	29	53	0.6*	
	20	161	280	8.9	39	70	0.6	
超速硬	-	173	350	s/a=0.5 セッター=0.3、0.5%				

リートは温度（練混ぜと養生は同一温度であり、以下、温度とする）を5、20、30℃とし、凝結調整剤の添加率を温度に応じて変化させた。流動化剤は練上りスランプを21cmに調整するために使用した。急硬材はW₂/RH=55%のミル

* 5℃:0.2~0.8%、20℃:0.6~1.4%、30℃:1.0~1.6%

** 添加率 (%) = ST / (C+RH) × 100

クにして添加した。超速硬コンクリートはセッター添加率をセメント量の0.3%と0.5%とした。

2. 3 試験項目と試験方法

試験項目と試験方法を表-3に示す。スランブの経時変化は練り置きで測定した。急硬材コンクリートの可使時間は、スランブが0cmとなる時間がコンクリート温度の1℃上昇にほぼ対応していることから、この材令とした。超速硬コンクリートの可使時間はスランブの経時変化から求めた。凍結融解試験は水中凍結水中融解とした。長さ変化は膨張剤の拘束膨張・収縮試験を適用し、基長は材令5時間とした。分析関係は材令1年の供試体を用いた。

2. 4 コンクリートの練混ぜ方法

練混ぜ方法は図-1に示すように、急硬材の現場添加を考慮して、ベースコンクリートを30分練り置いてから急硬材ミルクを添加した。一般に、材令は加水後の時間をいうが、本文では急硬材ミルク添加後の時間を急硬材コンクリートの材令と呼ぶ。

3. 結果と考察

3. 1 フレッシュコンクリートの性質

(1) スランブの経時変化

20℃における凝結調整剤添加率0.6%のスランブの経時変化を図-2に示す。急硬材コンクリートは、材令15分程度まで、ほぼ一定の流動性を保ち、その後急激に流動性を失い、45~60分の範囲で0cmになった。スランブは凝結調整剤添加率が一定の場合、急硬材添加率が大きくなるに従って早く低下する。セッター添加率0.5%の超速硬コンクリートは60分後でもスランブが13cm程度あり、急硬材コンクリートに比べてスランブの低下が遅い。

(2) 可使時間

図-3に凝結調整剤添加率と可使時間の関係を示す。可使時間は凝結調整剤添加率の増加にともない大きくなる。いずれの温度においても、凝結調整剤添加率を変えることにより、可使時間を制御できることがわかる。超速硬コンクリートの可使時間はセッター添加率により調節するが、急硬

表-3 試験項目及び方法

試験項目	試験方法
可使時間	5φ×10cmの中心温度が1.0℃上昇した時間
静弾性係数	JIS 原案による
動弾性係数	JIS A1127 による
凍結融解試験	JIS 原案 (水中凍結融解)
長さ変化	JIS A6202 (B法)
熱分析	マック・サイエンス社製DSC 3300 (DSC)
X線回析	理学電機社製 CN 4057 S5を用いた
細孔分布	島津製作所製オートポ79220 (水銀圧入法)
走査型電子顕微鏡	日本電子社製 JSM-5200を用いた

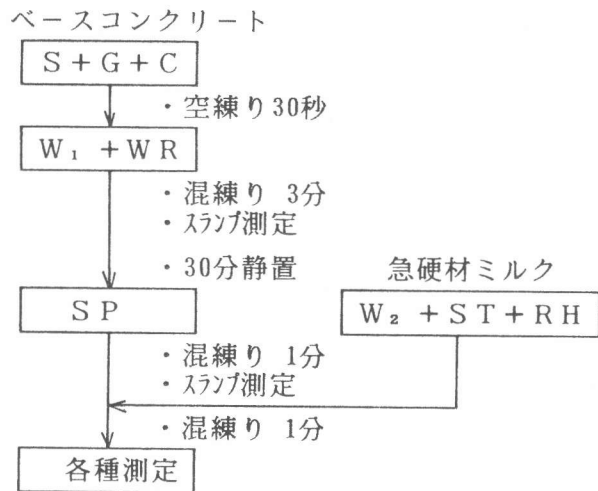


図-1 練混ぜ方法

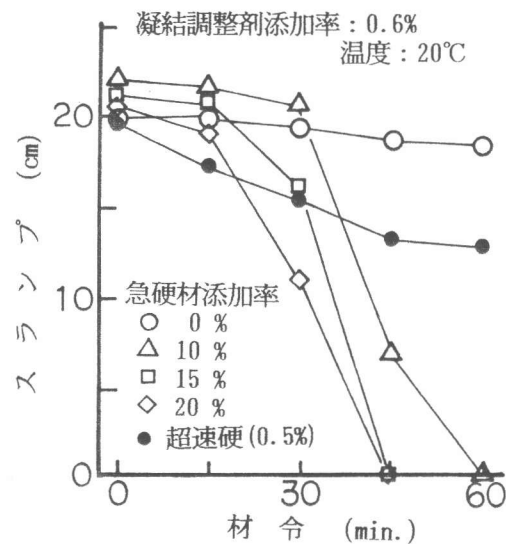


図-2 スランブの経時変化

材コンクリートに比べてやや敏感に変化するようである。

3. 2 硬化コンクリートの性質

(1) 初期強度

図-4に凝結調整剤添加率と初期強度を示す。初期強度は凝結調整剤添加率が小さいほど、すなわち可使用時間が小さくなるほど大きく、その傾向は各温度について同様である。これは凝結調整剤添加率が大きいほど、初期での強度発現が小さいということの意味する。可使用時間と同様に、初期強度は温度に応じて凝結調整剤の添加率を調整することにより、ある範囲で制御できるが、可使用時間と初期強度を独立に設定することはできない。超速硬コンクリートの初期強度は可使用時間同様セッター添加率の変化にやや敏感である。

図-5に材令1日までの初期強度を示す。凝結調整剤添加率0.6%では、材令1時間で数kgf/cm²、3時間で40kgf/cm²の強度発現がある。初期強度は急硬材添加率に比例して大きくなる。急硬材添加率10%は、強度発現がやや遅く、急硬材添加率15%と20%では材令3時間まで大きな差が生じていない。可使用時間を1時間程度とれるようにした超速硬コンクリートは、材令3時間までの強度増加が少ないが、その後の強度発現が著しく、材令1日で325kgf/cm²まで達した。

(2) 長期強度

図-6に長期強度の結果を示す。急硬材コンクリートは材令91日まで材令に比例して強度増加するが、それ以降は強度増加が少なくなる。実験の範囲では急硬材の初期の水和生成物が普通ポルトランドセメントの水和反応を妨げたことが推察される。超速硬コンクリートは材令1日までの強度増加が大きく、7日以降の強度の伸びは少ないようである。

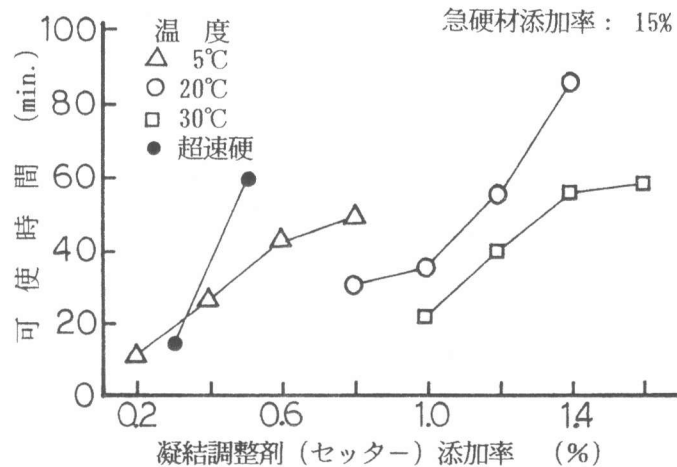


図-3 凝結調整剤 (セッター) 添加率と可使用時間

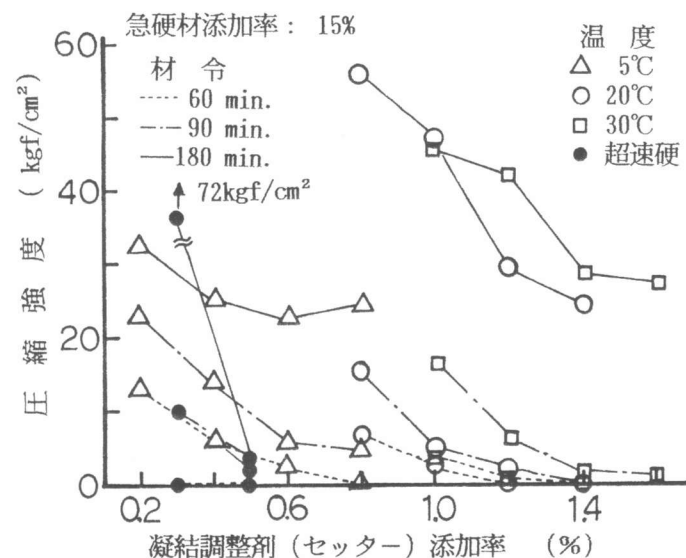


図-4 凝結調整剤 (セッター) 添加率と圧縮強度

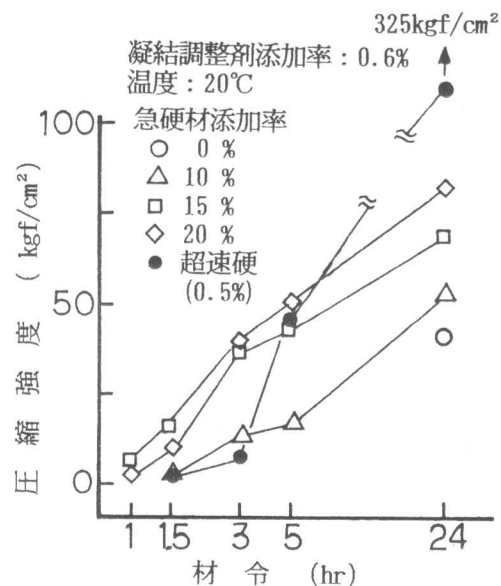


図-5 初期強度

(3) 弾性係数

圧縮強度と静・動弾性係数の関係を図-7に示す。静弾性係数 (E_c)は建築学会RC規準 [2] に示されている推定式にほぼ適合している。動弾性係数 (E_d)は推定式 [3] にほぼ適合している。急硬材添加率20%以下の静・動弾性係数は普通コンクリートと同等と考えられる。

(4) 凍結融解抵抗性

図-8に凍結融解試験による相対動弾性係数を示す。空気量1%の相対動弾性係数は、60サイクルで23%まで低下する。急硬材コンクリートは普通コンクリートと同様、4%程度の空気量混入により、凍結融解抵抗性が向上する。

(5) 長さ変化

図-9は拘束膨張収縮試験結果である。急硬材添加率20%の場合、膨張率は一般の収縮補償コンクリートよりやや大きく、 4×10^{-4} 程度となった。急硬材添加率に比例して、初期強度の発現は早く、膨張率が大きくなり、拘束の程度によってひび割れ発生危険性が増す。急硬材添加率が20%以下であれば①拘束膨張率が 4×10^{-4} 以下、②弾性係数が普通コンクリートと同等、③水中養生供試体にひび割れが見られない、ことにより膨張によるひび割れは発生しないと考えられる。

3.3 硬化コンクリートの分析

(1) 熱分析

熱分析試験結果 (DSC曲線) を図-10に示す。吸熱曲線はエトリングタイトの存在を示し、急硬材添加率が増えるに従いエトリングタイトによる吸熱量も増えている。

(2) X線回折

X線回折結果を図-11に示す。X線回折結果も明瞭にエトリングタイトの存在を示している。

(3) 細孔分布

表-4に急硬材添加率毎の全細孔容積を示す。細孔径分布は、急硬材の添加率によって明らか

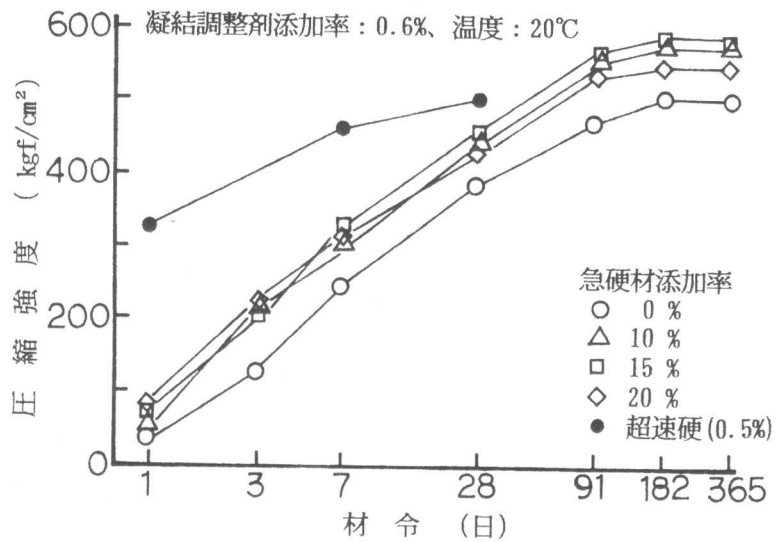


図-6 長期強度

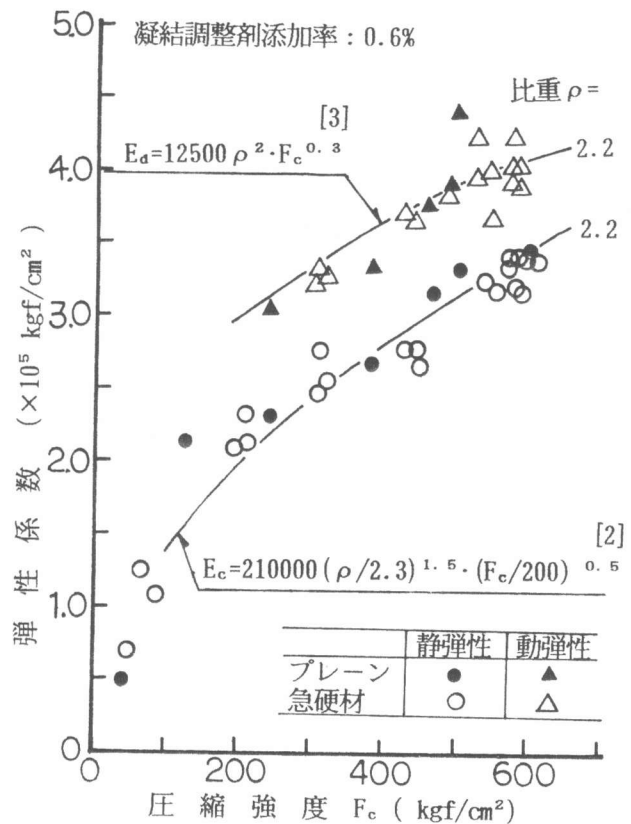


図-7 弾性係数

な差は見られないが、急硬材の添加率が増すに従い全細孔容積は低下し、組織がより緻密化していることがうかがえる。

(4) 電子顕微鏡による観察

写真-1に急硬材添加率 0、15% のSEM写真を示す。急硬材添加率 15%のコンクリートの空隙や細孔部分は針状のエトリンガイトで埋められ、緻密化している様子がうかがえる。

3. 4 まとめ

以上の結果をまとめると次の通りである。

- ① 可使時間はセッターの添加率を変化させることにより、通常の温度範囲であれば、60分程度まで伸ばすことができる。
- ② 初期強度も同様に、材令60分で数kgf/cm²、材令90分で10~20 kgf/cm²が得られる。
- ③ 長期強度は安定して増加する。
- ④ 可使時間と初期強度の組合せの一例を示すと次のようになる。

- ・ 可使時間30分の場合
 - 60分圧縮強度 5kgf/cm²
 - 180分圧縮強度 50kgf/cm²
- ・ 可使時間60分の場合
 - 90分圧縮強度 2kgf/cm²
 - 180分圧縮強度 30kgf/cm²

⑤ 急硬材コンクリートはその成分から膨張性を示すので、添加率は 20%以下が望ましい。

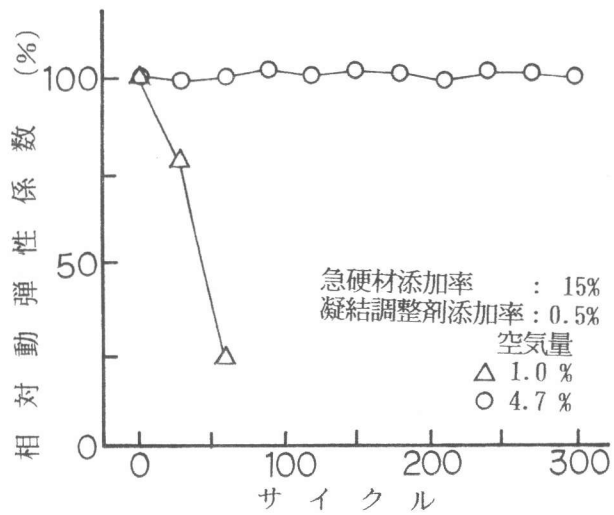


図-8 凍結融解試験による動弾性係数

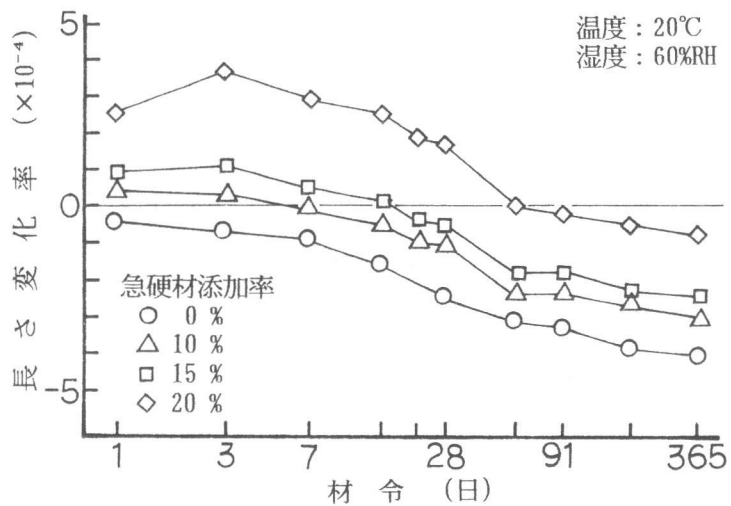


図-9 長さ変化 (空中拘束)

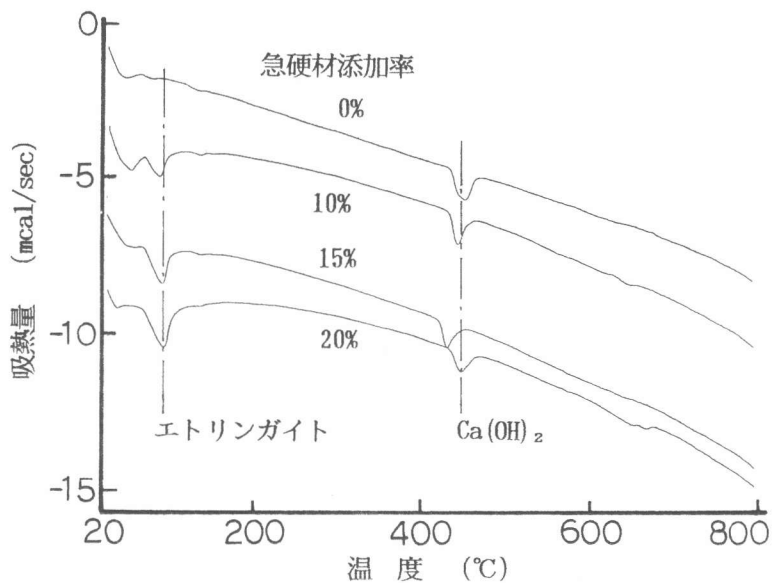


図-10 D S C 曲線

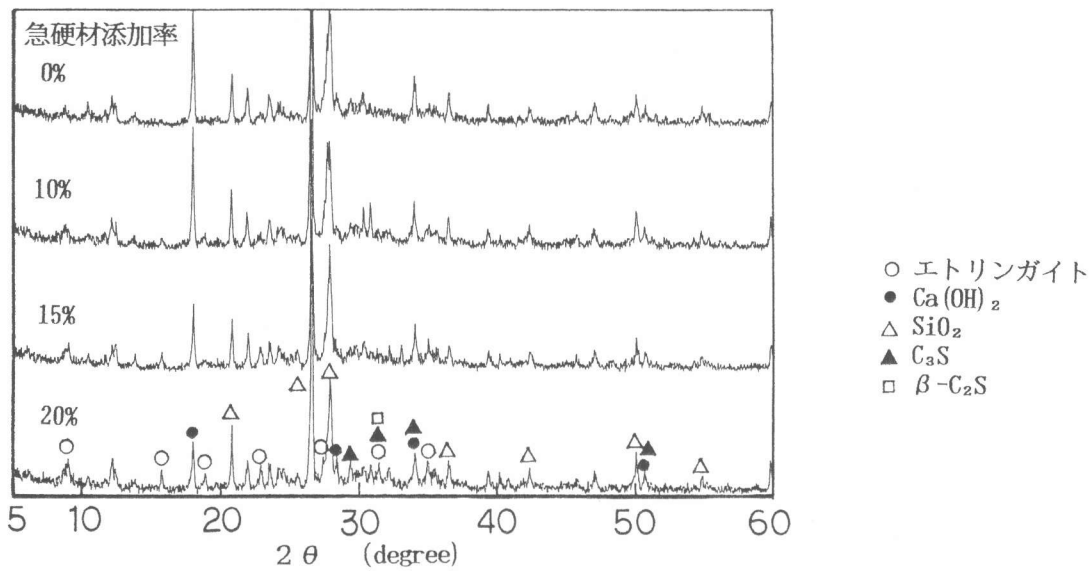


図-11 X線回折

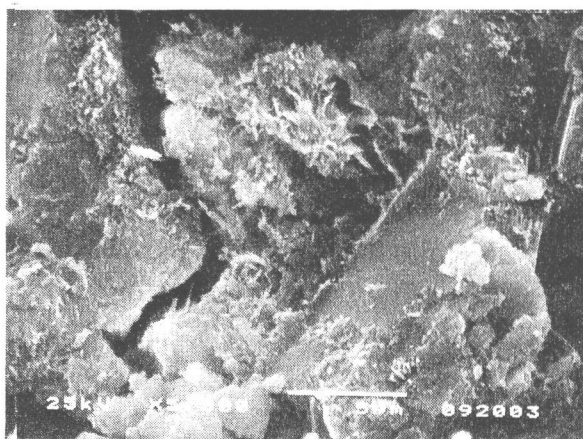
⑥急硬材添加によりエトリンガイトが生成し、空隙や細孔を満たし、組織が緻密化していることが観察された。

4. あとがき

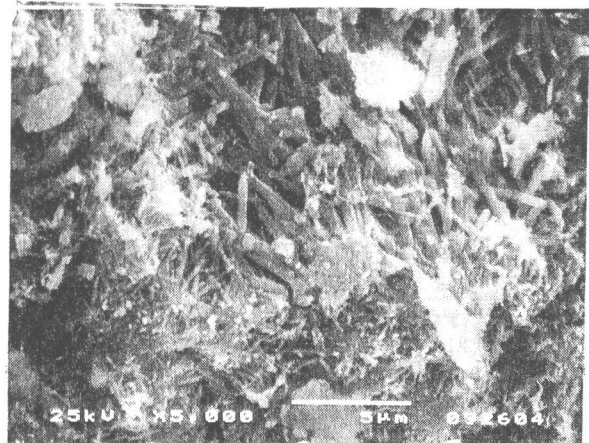
現場添加が可能で可使時間をコントロールできる急硬材は、NATMのNTL工法やシールドのECL工法への適用が有望であり、今後の発展が望まれる。本文がこれらの一助になれば幸いである。

表-4 全細孔容積

急硬材添加率 (%)	全細孔容積 (ml/g)
0	0.0804
10	0.0761
15	0.0716
20	0.0670



急硬材添加率：0%



急硬材添加率：15%

写真-1 SEM写真

参考文献

- 1) 倉林清、内藤将史、大塚哲雄：可使時間を有する急硬材添加コンクリートの基礎的性状について、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集第V部、pp.164-165、1991.9
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、pp.43、1991.4
- 3) 小阪義夫、谷川恭雄、太田福男：各種の骨材を用いたコンクリートの力学的性質の統一表示に関する研究、セメント技術年報XXI、pp.311-315、1967.12